

Способ представления скоростных рядов сельскохозяйственных тракторов в матричной форме

д.т.н. проф. Городецкий К.И., д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. проф. Серебряков В.В.,
доц. Шевелев А.С., Аландеев Е.М.
Университет машиностроения, ОАО «НИИ Стали»
(495) 223-05-23, доб. 1111, trak@mami.ru

Аннотация. Предложен и описан способ представления скоростных рядов сельскохозяйственных тракторов в матричной форме, что в известной мере раскрывает кинематическую схему коробок передач и пути создания и модификации их конструкций в зависимости от предъявляемых требований. Матричная форма представления рядов скоростей способствует разработке новых, более эффективных кинематических схем составных коробок передач тракторов

Ключевые слова: трактор, скорость, коробка передач, матрица, кинематическая схема

Требования к скоростям сельскохозяйственных тракторов формируются на основе двух источников. Первым являются данные технических характеристик машин-орудий, агрегируемых с конкретными тракторами, т.е. внешние требования, независимые от показателей отдельных узлов и агрегатов тракторов. Второй источник - внутренний, зависит от показателей конструкции отдельных элементов тракторов.

Будучи универсальными мобильными машинами, колёсные и гусеничные тракторы имеют большое количество скоростей, удовлетворяющих особенностям работы в самых разных почвенно-климатических условиях сельских и промышленных предприятий. Примером может служить приведенная в таблице 1 выборка рядов скоростей для некоторых тракторов, имеющих определённые отличающиеся принципы построения этих рядов. Таблица составлена на основе анализа официальных протоколов лаборатории испытаний тракторов Технического Университета Штата Небраска США [1].

Таблица 1

Выборка рядов скоростей для некоторых тракторов ведущих зарубежных фирм

Скорости и перепады между смежными скоростями некоторых зарубежных тракторов															
Передача	John Deere		Caterpillar					New Holland		AGCO		White		Case IH	
	8520T		Серия 800 (16 передач)		Серия 600 (18 передач)			TJ 430 T9040		RT145 J779 DT 225		8810		MX 285 MX 270 MX 255	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	V, км/ч	q	V, км/ч	q	V, км/ч	V, км/ч	q	V, км/ч	q	V, км/ч	q	V, км/ч	q	V, км/ч	q
1	1,55		2,69		2,19	2,4		4,1		2,31		2,24		3,15	
		1,34		1,28			1,29		1,2		1,29		1,29		1,146
2	2,08		3,43		2,83	3,09		4,94		3		2,89		3,61	
		1,33		1,26			1,29		1,2		1,29		1,29		1,152
3	2,77		4,31		3,65	4		5,96		3,86		3,74		4,16	
		1,34		1,27			1,14		1,2		1,14		1,14		1,147
4	3,71		5,48		4,17	4,56		7,18		4,39		4,26		4,77	
		1,12		1,19			1,13		1,1		1,14		1,13		1,149
5	4,16		6,54		4,7	5,15		8,25		4,99		4,82		5,48	
		1,15		1,13			1,14		1,1		1,14		1,14		1,146
6	4,8		7,37		5,36	5,87		9,06		5,68		5,49		6,28	
		1,16		1,13			1,14		1,1		1,13		1,14		1,167

7	5,57		8,31		6,03	6,67		9,93		6,42		6,23		7,33	
		1,15		1,12			1,14		1,1		1,14		1,14		1,147
8	6,42		9,34		6,94	7,6		10,9		7,32		7,1		8,41	
		1,16		1,13			1,13		1,1		1,13		1,13		1,152
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9	7,42		10,5		7,85	8,59		12		8,3		8,03		9,69	
		1,15		1,12			1,14		1,1		1,14		1,14		1,148
10	8,55		11,8		8,95	9,79		13,2		9,47		9,15		11,1	
		1,16		1,13			1,14		1,1		1,13		1,14		1,147
11	9,94		13,3		10,2	11,1		14,5		10,73		10,4		12,8	
		1,15		1,13			1,14		1,1		1,14		1,14		1,147
12	11,5		15		11,6	12,7		15,9		12,23		11,8		14,6	
		1,18		1,19			1,13		1,1		1,13		1,13		1,246
13	13,5		17,9		13,1	14,3		18,2		13,84		13,4		18,2	
		1,34		1,27			1,14		1,2		1,14		1,14		1,147
14	18,1		22,7		14,9	16,3		22		15,8		15,3		20,9	
		1,33		1,27			1.1361		1,2		1,13		1,14		1,153
15	24.1		28,8		16,9	18,5		26,53		17,86		17,3		24,1	
		1,28		1,39			1.2876		1,2		1,3		1,29		1,147
16	30.8		40		21,8	23,9		31,93		23,13		22,3		27,7	
							1.2942				1,29		1,34		1,147
17					28,2	30,9				29,84		29,9		31,7	
							1.2879				1,29		1,25		1,147
18					36,4	39,8				38,57		37,2		36,4	
скорости заднего хода															
1	1.45		2,16					6,21						4,53	
		2,7		2,4					2,2						1,15
2	3.89		5,22					13,73						5,2	
		1,26		1,13											2,03
3	4.89		5,89											10,6	
		1,76		2,4											1,15
4	8.61		14,3											12,1	

Таблица 1 содержит пронумерованные колонки, в которых записаны значения скоростей V тракторов различных моделей и значения перепадов q смежных скоростей, т.е. коэффициентов геометрических прогрессий их рядов. Скорости заднего хода отражены двумя приёмами. В тех случаях, когда они совпадают со значениями скоростей переднего хода, их числовые значения подчёркнуты и пропечатаны в таблице жирным курсивом, а если не совпадают, то расположены внизу колонок цифр скоростей переднего хода.

Трактор John Deere 8520T имеет 16 скоростей, показанных во второй колонке таблицы 1. Перепады q между смежными скоростями приведены в колонке 3. Между первыми четырьмя скоростями и последними четырьмя q имеет повышенные значения 1,28...1,34 по сравнению с 1,15...1,16 у оставшихся рабочих скоростей в диапазоне 4,16...11,46 км/ч. Отметим, что по зарубежным литературным данным рабочие скорости современных сельскохозяйственных тракторов лежат в диапазоне 4...12 км/ч [2, 3]. Кроме того, у данного трактора имеется ещё два перепада q между 4 и 5, а также 12 и 13 скоростями, которые отличаются от приведенных ранее значений. Данные соответствуют кинематической схеме составной коробки передач (КП), состоящей из последовательно соединенных двух коробок (КП-1 - для переключения передач внутри диапазона скоростей и КП-2 - для переключения диапазонов

скоростей) [4-8].

Коробка передач КП-1 обеспечивает переключение четырёх скоростей с перепадом $q = 1,34$, квадратный корень из которого 1,15 равен перепаду между скоростями рабочего диапазона. Далее работают пять фрикционных устройств, обеспечивающих в свою очередь четыре диапазона: технологический, рабочий, транспортный и заднего хода.

Диапазоны как бы масштабируют передаточные числа диапазонной коробки КП-2. Поэтому весь скоростной ряд трактора John Deere 8520T в соответствии с данными табл. 1 можно представить в виде матрицы [9], в которой в горизонтальные строки вписаны скорости, образуемые переключением фрикционных муфт коробки КП-1, а в колонках по вертикали – переключением фрикционных устройств диапазонной коробки КП-2:

	1,34	1,33	1,34	
2,7	1,55	2,08	2,77	3,71
1,15	4,16	5,57	7,42	9,94
2,8	4,8	6,42	8,55	11,46
	13,5	18,09	24,08	30,78

Значения отношений смежных скоростей по горизонтали и по вертикали указаны сверху и слева соответственно между колонками и строками вне матрицы.

Таким образом, первая строка содержит скорости технологического диапазона, вторая и третья – рабочие скорости и четвёртая – транспортные. Отступы последней скорости первого технологического диапазона от первой скорости рабочего диапазона зависят от передаточного числа ступеней диапазонной коробки и могут устанавливаться конструктором независимо от коэффициента скоростного ряда. Аналогичным образом устанавливается отступ между рабочими и транспортными диапазонами. Этим объясняются перепады 1,12 между четвёртой и пятой скоростями и 1,18 между двенадцатой и тринадцатой в таблице 1.

Необходимо также отметить, что в рабочем диапазоне последовательное переключение скоростей в большинстве случаев связано с необходимостью одновременной работы четырёх фрикционных муфт, что, по мнению некоторых специалистов, усложняет рабочий процесс. Например, чтобы перейти со скорости 4,8 км/ч на скорость 5,57 км/ч необходимо переключить две муфты в диапазонной КП-2 и две муфты первой и второй скорости в коробке КП-1. В действительности одновременность работы четырёх муфт представляется сугубо теоретическим случаем, так как все участвующие при этом муфты имеют разные коэффициенты запаса. В результате чего муфты с большим коэффициентом запаса прекращают буксовать раньше других. Кроме того, тракторист не станет без необходимости последовательно переключать все скорости.

Из таблицы 1 также видно, что аналогичный способ формирования скоростей использован в моделях тракторов серии 800 компании Caterpillar и моделях TJ430 и T904 компании New Holland, которые имеют также по 16 скоростей в скоростных рядах. Ниже приведены соответствующие этим моделям матрицы скоростей:

- для тракторов серии 800 компании Caterpillar

	1,3	1,3	1,3	
2,4	2,69	3,43	4,31	5,48
1,13	6,54	8,31	10,51	13,34
2,4	7,37	9,34	11,82	15,02
	17,87	22,71	28,75	38,0

- для тракторов моделей TJ430 и T904 компании New Holland

		1,2	1,2	1,2	
2,0	4,1	4,94	5,96	7,18	.
1,1	8,25	9,93	12,0	14,45	
2,0	9,06	10,91	13,18	15,88	
	18,23	21,95	26,53	31,93	

Отличия скоростных рядов рассматриваемых моделей тракторов и, следовательно, матриц состоят в том, что они имеют разные коэффициенты геометрических прогрессий 1,34, 1,3 и 1,2 (колонки 5, 8 и 10 в таблице 1). Тем самым демонстрируются реальные примеры исполнения одного и того же способа формирования скоростей с разными параметрами трансмиссий. Кроме того, используя матричную форму, можно перейти от конкретных реальных примеров к некоторым обобщениям:

$$\begin{matrix} & & q^2 & q^2 & q^2 \\ q^7 & \left| \begin{matrix} 1 & q^2 & q^4 & q^6 \\ q^7 & q^9 & q^{11} & q^{13} \\ q^8 & q^{10} & q^{12} & q^{14} \\ q^{15} & q^{17} & q^{19} & q^{21} \end{matrix} \right. & & & (1) \\ q & V_{\min} & & & & \\ q^7 & & & & & \end{matrix}$$

где: q - коэффициент геометрической прогрессии рабочего диапазона скоростей; V_{\min} - минимальная (первая) скорость трактора.

Постоянный член V_{\min} вынесен за знак матрицы.

Таблица 1 и приведенные матрицы показывают, что только около половины от всего количества скоростей могут быть отнесены к рабочему диапазону, т.е. к скоростям от 4 до 12 км/ч. Остальные скорости относятся к транспортному и технологическому диапазонам. Поэтому можно поставить под сомнение соблюдение строгого соотношения смежных скоростей между диапазонами и проанализировать целесообразность его увеличения в сторону некоторого повышения и расширения за счёт этого общего диапазона и транспортных скоростей. Тем самым обобщённая матрица (1) должна рассматриваться с учётом указанного допущения, являясь в свою очередь инструментом анализа возможностей.

С учётом анализа 16-скоростных КП представляется целесообразным выяснить возможность использования обобщённой матрицы для анализа скоростных рядов других четырёх моделей тракторов, представленных в таблице 1 и имеющих по 18 скоростей переднего хода.

Серия 600 тракторов компании Caterpillar представляется относительно новой и прогрессивной хотя бы потому, что из 8 моделей половина имеет гидромеханические бесступенчатые трансмиссии типа CVT (constant variable transmission), а оставшиеся 4 модели (колонки 6 и 7 в таблице 1) снабжены 18-ти скоростными КП с 9 скоростями заднего хода.

Общее же количество скоростей переднего и заднего хода равно 27. Чтобы реализовать данное количество скоростей, необходимо иметь структуру составной КП, состоящую из трёх последовательно соединённых коробок (КП-1, КП-2 и КП-3), каждая из которых должна иметь по три передачи. В таблице 2 показан возможный порядок включения фрикционных элементов (крестиками) в этих КП. Однако в коробке диапазонов КП-3 показаны только два поддиапазона 3.1 и 3.2, а третий заднего хода отсутствует, так как его относительное передаточное число со знаком минус одинаково с поддиапазоном 3.1, ввиду чего некоторые скорости переднего и заднего хода совпадают. Эти скорости, так же как и в таблице 1, выделены жирным курсивом, а соответствующие им относительные передаточные числа подчеркнуты и также выделены.

Здесь и ниже рассматриваются относительные величины передаточных чисел, в виду

отсутствия реальных значений по всем моделям выбранных тракторов. Поэтому в первых поддиапазонах всех трёх коробок относительные передаточные числа равны единице, последующие же значения q^4 , q^8 , q^5 , q^{12} и q^2 имеют также относительный характер, выражены с использованием коэффициентов геометрических прогрессий q рядов скоростей в соответствующих степенях и указаны в строке.

Таблица 2

Порядок включения фрикционных элементов управления в 18-скоростных КП

Передача	V , км/ч	КП-1			КП-2			КП-3		Относительное передаточное число
		№ муфты			№ муфты			№ муфты		
		1,1	1,2	1,3	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	
		1	q^4	q^8	1	q^5	q^{12}	1	q^2	
1	<u>2,4</u>	+			+			+		<u>1</u>
2	3,1	+			+				+	q^2
3	<u>4,0</u>		+		+			+		<u>q^4</u>
4	<u>4,6</u>	+				+		+		<u>q^5</u>
5	5,2		+		+				+	q^6
6	5,9	+				+			+	q^7
7	<u>6,7</u>			+	+			+		<u>q^8</u>
8	<u>7,6</u>		+			+		+		<u>q^9</u>
9	8,6			+	+				+	q^{10}
10	9,8		+			+			+	q^{11}
11	<u>11,1</u>	+					+	+		<u>q^{12}</u>
12	<u>12,7</u>			+		+		+		<u>q^{13}</u>
13	14,3	+					+		+	q^{14}
14	16,3			+		+			+	q^{15}
15	<u>18,5</u>		+				+	+		<u>q^{16}</u>
16	23,9		+				+		+	q^{18}
17	<u>30,9</u>			+			+	+		<u>q^{20}</u>
18	39,8			+			+		+	q^{22}

Реальные скорости или передаточные числа в силу целочисленных количеств зубьев шестерён не должны строго соответствовать расчётным, но их анализ в ряде случаев помогает раскрывать структуру и приёмы формирования кинематических схем КП.

Выводы, которые вытекают из анализа данных таблицы 2, раскрывают также относительное передаточное число ступени 3.2 коробки диапазонов КП 3. Оно составляет q^2 в относительных величинах, чем достигается получение остальных, не выделенных скоростей ряда путём умножения на данную величину выделенных скоростей. Кроме того, отметим, что первые три и последние три скорости имеют увеличенный перепад, равный уже названному значению q^2 .

Отметим также, что в данном варианте КП с 18 скоростями переднего хода по сравнению с предыдущими 16 скоростными в соответствии с таблицей 2 в процессе переключения скоростей в ряде случаев могут участвовать шесть фрикционных устройств, т.е. имеет место трёхпарное переключение.

При разработке матрицы данного ряда скоростей вначале формируется упрощённая система для выделенных в таблице 1 и таблице 2 скоростей, получаемых путём переключения

ступеней в КП-1 и в коробке диапазонов КП-2. Тогда матрица принимает следующий вид:

$$q^5 \left| \begin{array}{ccc} 1 & q^4 & q^8 \\ q^5 & q^9 & q^{13} \\ q^{12} & q^{16} & q^{20} \end{array} \right| V_{\min}$$

Учёт относительных передаточных чисел коробки диапазонов КП-3 может быть выражен, например, пространственной матрицей. Однако такой способ представляется достаточно сложным, в связи с чем предпочтение отдано варианту матрицы с двучленным коэффициентом перед матрицей, который в целом отражает содержание таблицы 2:

$$q^5 \left| \begin{array}{ccc} 1 & q^4 & q^8 \\ q^5 & q^9 & q^{13} \\ q^{12} & q^{16} & q^{20} \end{array} \right| V_{\min} (1 + q^2) = V_{\min} \left| \begin{array}{ccc} 1 & q^4 & q^8 \\ q^5 & q^9 & q^{13} \\ q^{12} & q^{16} & q^{20} \end{array} \right| + V_{\min} \left| \begin{array}{ccc} q^2 & q^6 & q^{10} \\ q^7 & q^{11} & q^{15} \\ q^{14} & q^{18} & q^{22} \end{array} \right|. \quad (2)$$

В матрицах (2) построчное отличие членов составляет q^4 . Кроме того, три смежных с ними скорости 4, 8 и 12-ая, являясь также основными образующими, отличаются от первых на q . Здесь уместно отметить, что данные девять скоростей образуются на основе первых матриц, на что указывают соответствующие показатели степеней.

Оставшиеся девять скоростей образуются на основе третьей матрицы (2). Необходимо также подчеркнуть, что перепады скоростей между первой и третьей, третьей и седьмой, седьмой и одиннадцатой, одиннадцатой и пятнадцатой а также пятнадцатой и семнадцатой скоростями равны и составляют q^4 , т.е. пять таких промежутков охватывают шесть отмеченных скоростей.

Возможны также и другие варианты кинематических схем и другие последовательности переключений фрикционных механизмов. В частности можно полагать, что тракторы RT-145, J-779, DT-225 и WHITE-8810 (колонки 11 и 13 в табл. 1) имеют КП, использующие описанные ранее принципы формирования рядов скоростей, но в то же время отличаются меньшим числом передач заднего хода, а именно отсутствием скоростей, которые могут быть отнесены к диапазону транспортных.

Отличается также скоростной ряд тракторов MX-285, MX-270, MX-255 компании CASE IH (колонки 15 и 16), где при 18 ступенях перепады между смежными скоростями составляют 1,15 и распределены практически равномерно. Составные КП этих моделей отличается несколько сниженный общий диапазон скоростей, и можно предположить, что они просты по конструкции. Снижение общего диапазона происходит из-за отсутствия увеличенного шага между смежными скоростями в одном ряду передач отдельных коробок составной КП.

В результате выполненного исследования установлено:

- большое количество скоростей современных сельскохозяйственных тракторов, формируемых путём последовательного соединения нескольких КП, информативно и удобно выражать в матричной форме;
- на основе представления рядов скоростей в матричной форме разработана обобщенная матрица, в которой вместо скоростей включены относительные передаточные числа, что позволяет рассматривать задачу в общем виде для различных значений коэффициентов геометрических прогрессий рядов скоростей и перепадов передаточных чисел между отдельными коробками составной КП;
- использование матричной формы в ряде случаев раскрывает способы формирования скоростных рядов и может явиться средством анализа, обобщения и оценки кинематических схем составных КП тракторов, их достоинств и недостатков;
- матричная форма представления рядов скоростей способствует разработке новых, более

Литература

1. Tractor test publications. <http://NE>.
2. Городецкий К.И., Шуваев Д.Н., Шевелев А.С. Предпосылки создания тракторов с кусочно-бесступенчатым способом регулирования скорости их движения// Тракторы и сельхозмашины, 2013, № 3. - С. 13-16.
3. Титов А.И., Городецкий К.И., Шарипов В.М. Скорости тракторов. – Справочник. Инженерный журнал, 2009, №3. - С. 28-32.
4. Agrartechnik, jun, 1999.
5. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов. - М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.
6. Устройство тракторов/ В.М. Шарипов, К.И. Городецкий, А.П. Маринкин и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 320 с.
7. Тракторы и автомобили/ В.М. Шарипов, М.К. Бирюков, Ю.В. Дементьев и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с.
8. Тракторы. Конструкция/ В.М. Шарипов, Д.В. Апельинский, Л.Х. Арустамов и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 792 с.
9. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. 3. – М.: Наука, 1974. – 672 с.

Внешние инфразвуковые поля наземных транспортных средств

д.т.н. проф. Графкина М.В., д.т.н. проф. Нюнин Б.Н., к.т.н. Свиридова Е.Ю., Ральченко В.И.
Университет машиностроения
8 (499) 2671605, esomami@mail.ru

Аннотация. Исследование внешнего инфразвукового поля автомобиля в реальных и стендовых условиях позволит решать принципиально новые задачи по выявлению источников и механизма возникновения инфразвука, развитию мониторинга инфразвуковых полей наземных транспортных средств, создать модель расчета ожидаемого уровня инфразвука, а также предложить методы по снижению этого уровня до требований санитарных норм.

Ключевые слова: исследование физических полей, внешние инфразвуковые поля наземных транспортных средств, модель расчета ожидаемого уровня инфразвука, источники и механизм возникновения инфразвука

Одним из основных источников инфразвуковых полей на селитебных территориях являются наземные транспортные средства. В настоящее время существенный вклад в инфразвуковое загрязнение вносит автомобиль, что объясняется ростом автомобильного парка в РФ. Однако в современных публикациях недостаточно данных об исследованиях инфразвуковых полей автомобиля в реальных и стендовых условиях, теоретических моделей возникновения инфразвука, а также результатов по прогнозированию уровней инфразвукового давления на основе расчетных моделей. В связи с этим целесообразным является дальнейшее исследование проблемы внешних инфразвуковых полей наземных транспортных средств. Авторы имеют определенные наработки в этой области, которые позволяют найти современный подход к определению, расчету и моделированию расчета ожидаемого уровня инфразвука. [1-3]

На первом этапе были проведены измерения внешнего инфразвука гибридного автомобиля Lexus RX400H на колесном мощностном стенде LPS 3000 для легковых автомобилей, предназначенного для измерений линейной скорости, тягового усилия и мощности двигателя автомобиля. Были использованы только возможности стенда по имитации городского цикла езды автомобиля. Измерения уровня инфразвуковых полей проводились на следующих режимах - холостой ход, 20 км/ч, 60 км/ч, 80 км/ч на расстоянии 1 м от боковой поверхности салона. Результаты исследования представлены на рисунке 1. Анализ показывает, что при